

УДК 502.51:504.5

**В. К. Липский, Д. П. Комаровский, Л. М. Спириденко, А. А. Гвоздева***Полоцкий государственный университет, г. Новополоцк, Республика Беларусь*

## **КОМПЛЕКСНЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ЗАЩИТЫ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ АВАРИЙНЫХ РАЗЛИВАХ НЕФТИ И МЕТОД ОЦЕНКИ ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТИ**

*Аварийные разливы нефти наносят серьезный экологический ущерб окружающей среде и особенно водным объектам. Наиболее частым источником такого загрязнения является трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов, для которого характерна большая протяженность и разнообразие ландшафтов, по которым проходят трассы. В работе рассматривается методика построения технологических процессов защиты водных объектов, которая учитывает геоландшафтные характеристики территорий, на которых происходят аварийные разливы нефти, а также метод оценки эффективности деятельности по ликвидации аварийных разливов нефти.*

➤ **Ключевые слова:** водный объект, нефть, авария, трубопроводный транспорт, технологический процесс защиты водных объектов, аварийный разлив нефти.

### **Введение**

Одним из наиболее распространенных и опасных загрязнителей окружающей среды является нефть и нефтепродукты (далее по тексту – нефть). Все промышленные источники загрязнения можно разделить на три группы: *площадочные*, к которым относятся нефтебазы, нефтеперерабатывающие заводы, нефтеперекачивающие станции; *линейно-протяженные* – магистральные и промысловые нефтепроводы и нефтепродуктопроводы; *передвижные* – железнодорожный, автомобильный, речной и морской транспорт нефти и нефтепродуктов.

Объектами нефтяного загрязнения могут выступать все компоненты окружающей среды: *атмосфера, литосфера, гидросфера и биосфера*.

В окружающую среду нефтяное загрязнение может поступать *систематически* [1, 2], в виде больших и малых «дыханий» резервуаров хранения нефти, загрязненных дождевых и талых сточных вод, с неочищенными или частично очищенными сточными водами, а также в виде *аварийных сбросов* [1] при авариях на объектах добычи, хранения и транспортирования нефти.

При систематических загрязнениях в окружающую среду поступает относительно небольшое количество нефти, в то время как при залповых сбросах объемы нефти могут измеряться десятками тыс. т.

Наиболее серьезные последствия наступают при загрязнении нефтью водных объектов (ВО) в случае аварии на магистральном нефтепроводе (МНП).

У аварийных разливов нефти (АРН) на МНП есть существенная особенность, вызванная тем, что МНП обладают большой протяженностью трасс, проходящих по территориям с различными ландшафтами. Разнообразие ландшафтов, по которым проходят трассы нефтепроводов, а также влияние метеорологических факторов, действующих в период АРН, обуславливают высокую вариативность сценариев развития аварий, происходящих на разных участках трассы, что, в свою очередь, требует использования очень широкого спектра технологических операций по локализации и сбору разлившейся нефти при ее взаимодействии с различными объектами окружающей среды (ОС). Это сделало *учет геоландшафтных характеристик территорий, на которых происходит АРН, основным научно-методологическим принципом, лежащим в основе метода построения технологических процессов защиты ВО при АРН и разработки плана ликвидации аварийных разливов нефти (ПЛАРН)*, направленных на минимизацию экологических последствий при АРН.

© Липский В. К., Комаровский Д. П., Спириденко Л. М., Гвоздева А. А., 2010

### ***Построение технологических процессов защиты ВО***

Главная проблема, возникающая при построении технологических процессов защиты ВО при АРН, состоит в многообразии сценариев развития АРН и необходимости учета характеристик всех объектов ОС, подвергаемых воздействию нефти. Это требует применения большого количества разнообразных технологических процессов защиты ВО при АРН, что обуславливает высокую трудоемкость их построения. Снижение трудоемкости и повышение качества технологического планирования достигается путем формализации представления характеристик объектов ОС, сценариев развития АРН и типизации и унификации технологических операций ликвидации АРН. В связи с этим разработан порядок построения технологических процессов (рис. 1).

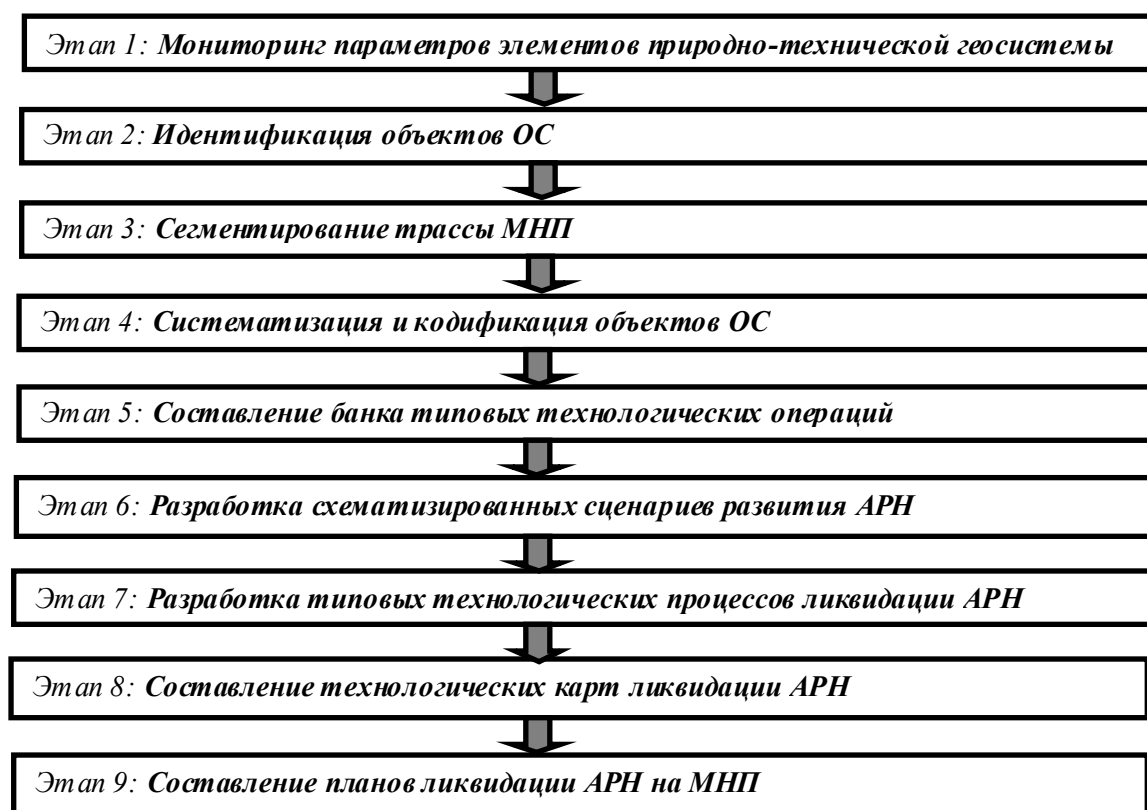


Рис. 1. Этапы построения технологических процессов защиты ВО при АРН

**Этап 1. Мониторинг параметров элементов природно-технической геосистемы (ПТГ).** Исходным действием при построении технологических процессов защиты ВО при МНП является сбор данных о характеристиках объектов ПТГ, которая включает в себя территорию с расположенным на ней нефтепроводом.

**Этап 2. Идентификация объектов ОС.** На основании данных мониторинга, путем составления предметно-ориентированного каталога ВО (ПОК ВО), осуществляется идентификация объектов ОС, расположенных на прилегающих к трассе МНП территориях. В ПОК ВО приводятся характеристики ВО, а также характеристика территории, примыкающей к трассе.

Мониторинг параметров МНП (технические характеристики, условия эксплуатации и др.) проводится на основе известных методик и осуществляется с целью использования его данных для определения масштаба воздействия (количества разлившейся нефти), представленного в виде технологического риска.

**Этап 3. Сегментирование трассы МНП.** Методологической основой комплексного метода построения технологических процессов является сегментирование трассы нефтепровода на автономные участки, к которым относятся участки трассы, расположенные между двумя водораздельными точками. Нефть, разлившаяся в любой точке автономного участка, не может перемещаться за границы водосборного бассейна участка.

Секционирование трассы нефтепровода на автономные участки обеспечивает определенность границ возможного поражения территории разлившейся нефтью и возможность разработки конкретных профилактических и оперативных инженерно-технологических мероприятий по защите водных объектов при АРН на данном участке.

Разлившаяся нефть, перемещаясь, может загрязнять различные компоненты ландшафта на своем пути (лес, пашня, болото, ручей, река и т. д.). Если траекторию движения нефти разбить на отрезки с одинаковыми ландшафтными условиями, то такие отрезки называются *локальными*. Выделение локальных отрезков позволяет определить условия и методы проведения доаварийных и послеаварийных работ, направленных на защиту водных объектов, планирование и проведение которых осуществляется для конкретных ландшафтных условий местности.

**Этап 4. Систематизация и кодификация объектов ОС.** При проведении сегментации трассы идентифицируется большое количество локальных отрезков, которым присущ широкий спектр существующих на них ландшафтных условий. Это вызывает необходимость унификации процедуры разработки планов по ликвидации АРН для локальных отрезков, в основе которой лежит *метод систематизации локальных отрезков трассы*. В качестве признаков, по которым проводится систематизация, использованы ландшафтные характеристики локальных отрезков, которые оказывают наиболее существенное влияние на характер развития возможных АРН и на состав технологических операций при проведении мероприятий по ликвидации АРН.

Общим признаком для систематизации локальных отрезков является среда, в которую будет поступать разлившаяся нефть из аварийного отверстия: для подземных участков трубопроводов это земля, для подводных переходов – водный объект (как правило – водоток). В соответствии с этим все природные объекты по признакам систематизации поделены на две группы: *водные объекты* и *земли*.

В зависимости от рельефа местности вблизи места разгерметизации нефтепровода АРН может развиваться в разных условиях.

1. Рельеф местности имеет естественное замкнутое понижение (котловина, впадина, воронка). Нефть перемещается по склону понижения, при этом происходит загрязнение поверхности склона, и скапливается в нижней его части, дальнейшее распространение нефти по поверхности земли не происходит. В зависимости от пористости почвы и грунтов, а также их водонасыщенности возможна фильтрация нефти в толщу почвы и грунтов, при этом происходит загрязнение почвы и грунтов.

При близком расположении к поверхности земли грунтовых вод нефть может проникнуть в водоносные горизонты, произойдет их загрязнение. Дальнейшее развитие АРН определяется характером движения грунтовых вод и их связью с поверхностными водами.

2. Рельеф местности имеет уклон и характеризуется поверхностным стоком, отсутствуют замкнутые, непроточные понижения земной поверхности. К элементам такого рельефа относятся: ложбина, лощина, балка, суходол и т. д. Нефть перемещается по уклону поверхности земли, при этом происходит загрязнение поверхности земли и возможно загрязнение почвы, грунтов и грунтовых вод. В месте сбора поверхностного стока происходит загрязнение водных объектов: канала, водоема, водотока, а также болот.

Другим важным признаком для проведения систематизации локальных отрезков является характер растительности. Выделены три вида растительности: древесная, кустарниковая и травяная, к которой отнесены и с/х угодья различного назначения (растениеводство, луга, пастбища и т. п.).

При авариях на подводных переходах разлившаяся нефть поступает непосредственно в водный объект. В этом случае основным признаком для систематизации локальных отрезков является вид водного объекта. В зависимости от вида водного объекта авария может развиваться по следующим направлениям:

1. Разлив нефти по поверхности водоема. Если водоем проточный, то возможно загрязнение вытекающего водотока (канала, ручья, притоков рек).

2. Разлив нефти по поверхности водотока (канала, ручья, притока, главной реки), происходит загрязнение поверхности водотока.

Если водоток впадает в водоем или в другой водоток, то возможно загрязнение водоема или водотока высшего порядка.

Сформированный перечень типичных признаков объектов ОС позволяет систематизировать идентифицированные при проведении сегментации трассы локальные отрезки по характеристикам ландшафтных условий, в которых будет проходить развитие возможных аварий.

Всем идентифицированным объектам окружающей среды присвоены коды (табл. 1). Таким образом, изложенный метод систематизации локальных отрезков состоит в формировании перечня типичных признаков элементов ландшафта и их кодификации.

Таблица 1

*Типы и формы поверхностей ландшафта, по которым распространяется разлившаяся нефть*

| Типы и формы поверхностей ландшафта, по которым распространяется разлившаяся нефть | Технологические коды объектов ОС |
|--|----------------------------------|
| <b>Водные объекты – W</b>  |                                  |
| Водоем с открытой поверхностью   | <i>W1A</i>                       |
| Водоем, покрытый льдом   | <i>W1B</i>                       |
| Река с открытой поверхностью   | <i>W2A</i>                       |
| Река, покрытая льдом   | <i>W2B</i>                       |
| Канал с открытой поверхностью  | <i>W3A</i>                       |
| Канал, покрытый льдом  | <i>W3B</i>                       |
| Ручей с открытой поверхностью  | <i>W4A</i>                       |
| Ручей, покрытый льдом  | <i>W4B</i>                       |
| <b>Обводненные земли – V</b>   |                                  |
| <b>Наличие стока</b>   |                                  |
| Поверхность земли, покрытая снегом   | <i>V5B</i>                       |
| Поверхность земли с древесной растительностью                                      | <i>V5C</i>                       |
| Поверхность земли без древесной растительности                                     | <i>V5D</i>                       |
| <b>Отсутствие стока</b>  |                                  |
| Поверхность земли, покрытая снегом   | <i>V6B</i>                       |
| Поверхность земли с древесной растительностью                                      | <i>V6C</i>                       |
| Поверхность земли без древесной растительности                                     | <i>V6D</i>                       |
| <b>Земли – Z</b>   |                                  |
| <b>Наличие стока к ВО</b>  |                                  |
| Поверхность земли, покрытая снегом   | <i>Z5B</i>                       |
| Поверхность земли с древесной растительностью                                      | <i>Z5C</i>                       |
| Поверхность земли без древесной растительности                                     | <i>Z5D</i>                       |
| <b>Отсутствие стока к ВО</b>   |                                  |
| Поверхность земли, покрытая снегом   | <i>Z6B</i>                       |
| Поверхность земли с древесной растительностью                                      | <i>Z6C</i>                       |
| Поверхность земли без древесной растительности                                     | <i>Z6D</i>                       |

**Этап 5. Составление банка типовых технологических операций.** Для каждого типа объектов окружающей среды разработан набор типовых технологических операций, которые должны осуществляться при проведении работ по локализации и сбору разлившейся нефти при ее взаимодействии с этим объектом.

Типовые технологические операции делятся на основные, при которых осуществляется локализация и сбор нефти, и вспомогательные, предназначенные для обеспечения возможности проведения основных операций. Вспомогательные операции включают обеспечение необходимых условий для работы используемых технических средств по локализации и сбору нефти, а также операции по складированию собранной нефти и подготовке ее к утилизации и технологические операции по реабилитации территории после завершения аварийных работ.

Перечень таких типовых технологических операций для всех видов и форм поверхностей ландшафта, присущих различным объектам ОС, используют на разных этапах проведения работ, направленных на предотвращение и минимизацию загрязнения водных объектов разлившейся нефтью. Этот перечень соответствует технологическим кодам, приведенным в табл. 1.

**Этап 6. Разработка схематизированных сценариев развития АРН.** Для описания процесса развития АРН использован логико-графический метод представления модели развития событий (*дерево событий*). Метод применялся для рассмотрения всех возможных вариантов развития АРН.

В качестве исходного события в модели аварийного разлива нефти в виде дерева развития событий (рис. 2) принята разгерметизация нефтепровода, а дальнейшее перемещение разлившейся нефти по прилегающей к трассе нефтепровода территории рассматривается как развитие АРН.

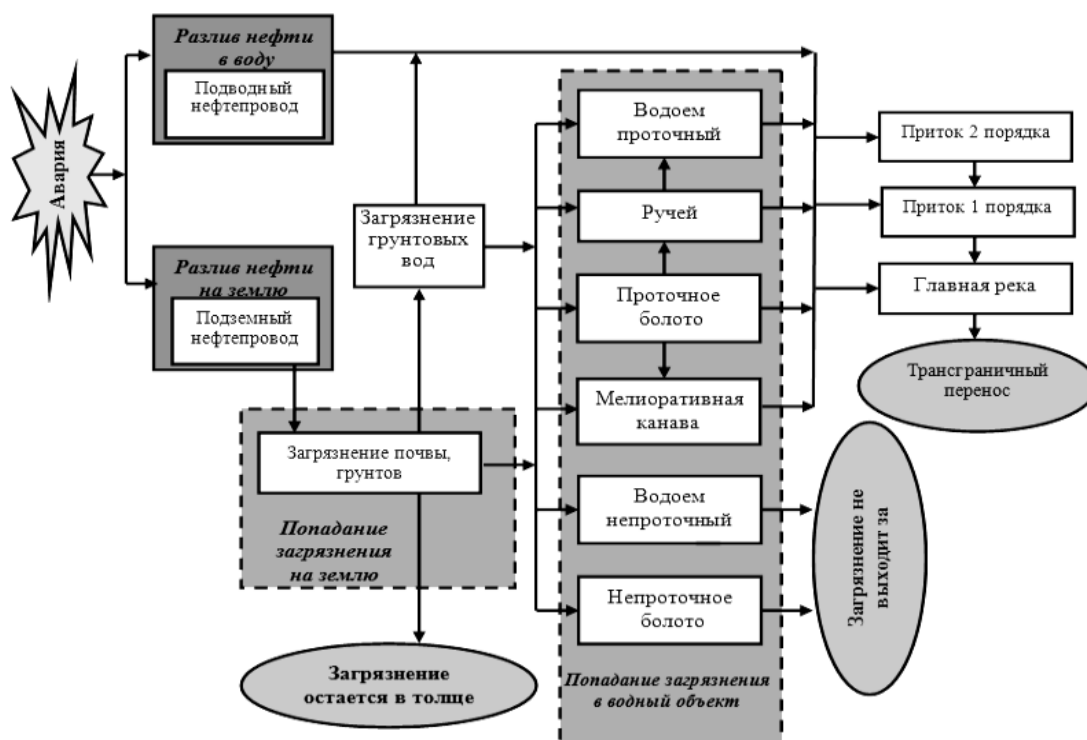


Рис. 2. Модель аварийного разлива нефти в виде дерева развития событий

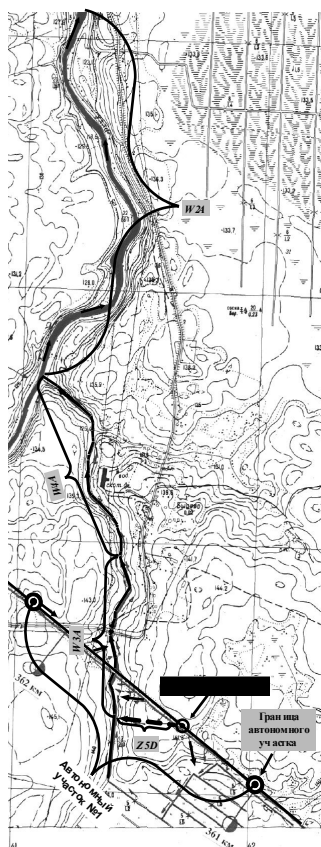


Рис. 3. Построение схематизированного сценария

В этой модели обобщена вся совокупность возможных сценариев развития АРН, которые могут происходить на МНП.

Большое число локальных отрезков и многообразие сочетания технологических и ландшафтных факторов, под воздействием которых будет развиваться АРН, связанное с большой протяженностью нефтепроводов, вызывает необходимость вести разработку и анализ чрезвычайно большого количества предполагаемых сценариев. Каждый из этих сценариев при проведении ликвидации АРН требует применения технологий и технических средств, соответствующих конкретному сценарию и ландшафтным условиям на локальном отрезке.

Для конкретного локального отрезка составляется (набирается) *схематизированный сценарий развития возможного АРН* на нем. При составлении сценария используются данные мониторинга окружающей среды и модель АРН в виде дерева развития событий. Кроме этого учитываются типичные признаки объектов ОС на данном отрезке с учетом стадий движения нефти и сопровождающих их физических процессов.

Схематизированный сценарий представляет собой последовательную совокупность кодов объектов ОС, расположенных на локальном отрезке.

В качестве примера составления схематизированного сценария рассмотрим автономный участок (361–362,15 км) магистрального нефтепродуктопровода «Унеча-Вентспилс» (рис. 3). При аварии на нефтепродуктопроводе (место аварии показано на рис. 3) разлившийся нефтепродукт перемещается по пашне (код Z5D), далее по мелиоративному

каналу (код *W3A*). Из мелиоративного канала нефтепродукт попадает в ручей (код *W4A*) а из него в р. Улла (код *W2A*). Река Улла является притоком р. Западная Двина, поэтому из р. Улла загрязнение попадает в р. Западная Двина (код *W2A*). Таким образом, схематизированный сценарий представляет собой последовательность технологических кодов: *Z5D*→*W3A*→*W4A*→*W2A* (р. Улла)→*W2A* (р. Зап. Двина).

**Этап 7. Разработка типовых технологических процессов ликвидации АРН.** Для каждого схематизированного сценария из банка типовых технологических операций [1], согласно технологическому коду, выбираются технологические операции, которые должны быть выполнены при проведении ликвидации АРН на данном участке трассы. Для технологического кода *W3A* ниже приведен перечень технологических операций (табл. 2).

Таблица 2

*Перечень технологических операций*

| <i>W3A</i>   | <i>Канал с открытой поверхностью</i>  |
|--|---|
| Основные производственные и технологические операции | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Закрыть шлюз ниже по ходу движения нефтяного пятна.</li> <li>2. При необходимости возвести земляную дамбу с переливной трубой ниже по ходу движения нефтяного пятна.</li> <li>3. Вырыть амбар, обеспечить его герметичность или развернуть резино-тканевые резервуары для складирования собранной нефти.</li> <li>4. Установить нефтесборные устройства и производить откачку собранной нефти в подготовленный амбар или в резино-тканевые резервуары.</li> <li>5. Оставшуюся на поверхности воды нефть обработать сорбентом и биогентом.</li> <li>6. Срезать и утилизировать загрязненную растительность.</li> </ol> |

Совокупность типовых технологических операций для каждого сценария образует *типовой технологический процесс ликвидации АРН*.

**Этап 8. Составление технологических карт ликвидации АРН.** На этом этапе проводится рекогносцировка территории, по результатам которой уточняются типовые технологические процессы для сценариев, разработанных для данного участка, и проектные предложения по возведению на траекториях миграции нефти по земле стационарных защитных сооружений, а также по использованию существующих шибберных устройств на мелиоративных каналах.

С учетом результатов рекогносцировки территории и на основе уточненного типового технологического процесса рассматриваются и разрабатываются вопросы организации работ, непосредственно связанных с проведением ЛАРН на данном локальном отрезке.

Уточненные, привязанные к условиям местности типовые технологические процессы, содержащие весь необходимый комплекс основных и вспомогательных технологических операций, а также сведения об используемых стационарных защитных сооружениях и вопросы организации работ по проведению ликвидации АРН представляют собой *технологические карты* ликвидации АРН на автономном участке.

**Этап 9. Составление планов ликвидации АРН на МНП.** Организационной и инженерно-технологической основой создания планов ликвидации АРН являются технологические карты. Создание планов ликвидации аварийных разливов нефти осуществляется путем объединения технологических карт для всех автономных участков трассы

Планы ликвидации аварийных разливов нефти входят составной частью в Планы ликвидации возможных аварий на нефтепроводах, которые охватывают весь комплекс мероприятий по ликвидации аварии и ее последствий от устранения разрушений линейной части трубопровода (восстановление работоспособности трубопровода и возобновление перекачки в штатном режиме) до устранения экологических последствий аварии.

### **Метод оценки эффективности деятельности по ликвидации АРН**

Формы проявления экологических последствий очень многообразны и могут оцениваться как в натуральных, так и в обобщенных показателях. Они могут быть представлены различным образом: через описание состояния экологических параметров компонентов геосферы; через оценку непосредственных и отдаленных последствий, которые проявляются в результате АРН; в виде определенных комплексных показателей экологического состояния территории; в виде экономического ущерба от техногенного воздействия на окружающую среду.

Для оценки последствий конкретного (реального или возможного) АРН могут быть использованы стоимостные показатели, которые являются одной из форм представления экологических последствий в виде обобщенных показателей. Полнота и эффективность этого подхода к оценке экологических последствий определяется качеством методик экономической оценки экологического ущерба. Примером такой методики является Методика подсчета убытков, причиненных государству нарушением водного законодательства [4].

Алгоритм методики [4]:

$$Y = 3 \cdot K_{\text{кат}} \cdot \alpha \cdot K_{\text{сн}}, \quad (1)$$

где  $3 = f_1(W)$  – величина убытков от загрязнения ВО, млн руб.;  $W$  – масса нефти, поступившая в ВО, т;  $K_{\text{кат}}$  – коэффициент, учитывающий категорию водного объекта, в который сбрасывается нефть;  $\alpha = \frac{V}{W} \cdot 100$  – процент собранной нефти;  $V$  – масса нефти, извлеченная из ВО, т;  $T$  – время, за которое извлечена нефть, ч;  $K_{\text{сн}} = f_2(T)$  – коэффициент снижения величины убытка при принятии мер по ликвидации последствий загрязнений.

На основе стоимостной модели разработан метод оценки эффективности результатов деятельности по ликвидации экологических последствий конкретной аварии, который используется как при анализе результатов деятельности аварийно-восстановительных подразделений по ликвидации конкретного АРН, так и для оценки эффективности системы защиты водных объектов при авариях на нефтепроводах в целом.

В данном случае важен не размер налагаемых санкций, а подход к определению убытка, поэтому рассматриваемая методика в полной мере может быть использована в качестве модели. Это создает возможность получить важные практические результаты:

- выступая в роли идеальной схематизированной модели возможной аварии, зависимость (1) дает возможность определить максимально возможный диапазон предотвращения ЭП от загрязнения ВО при АРН, выраженный в стоимостных показателях;
- зависимость (1) позволяет получить опосредованную количественную оценку эффективности мероприятий по защите ВО, проведенных в ходе ликвидации конкретной аварии.

Введем понятие удельного убытка, т. е. убытка, приходящегося на тонну нефти, попавшей в ВО,  $\bar{Y} = Y_{\text{ВО}} / W$ , а также понятия удельного максимально возможного убытка  $\bar{Y}_{\text{max}} = Y_{\text{max}} / W$ , удельного минимально возможного убытка  $\bar{Y}_{\text{min}} = Y_{\text{min}} / W$  и удельного фактического убытка  $\bar{Y}_{\text{ф}} = Y_{\text{ф}} / W$ .

Результаты расчетов значений  $\bar{Y}_{\text{max}}$  и  $\bar{Y}_{\text{min}}$  представлены на рис. 4.

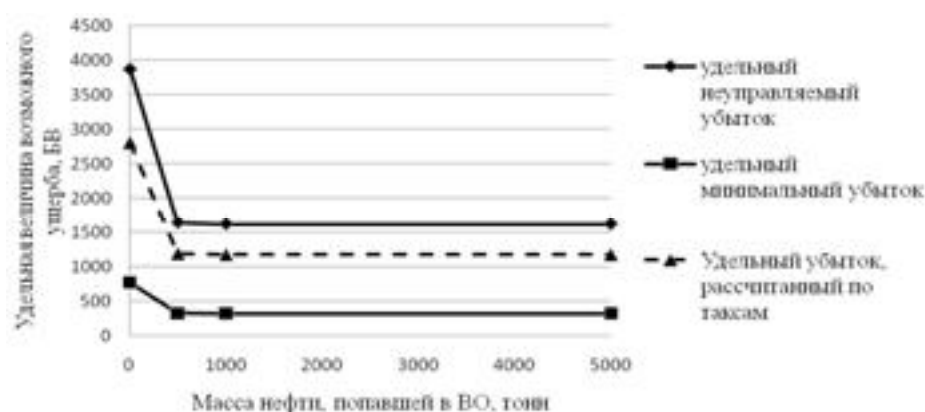


Рис. 4. Зависимость минимально и максимально возможных убытков, выраженных в удельной форме, от массы разлитой нефти

Отношение величины удельного максимально возможного убытка  $\bar{Y}_{\text{max}}$  к величине минимально возможного удельного убытка  $\bar{Y}_{\text{min}}$  представляет собой коэффициент максимально возможного предотвращения убытков  $\mu_{\text{max}}$ :

$$\mu_{\max} = \frac{\bar{Y}_{\max}}{\bar{Y}_{\min}} = \frac{Y_{\max}}{Y_{\min}}, \quad (2)$$

который соответствует кратности превышения максимально возможного убытка над минимально возможным и характеризует ширину диапазона, в котором в зависимости от эффективности проводимых мероприятий по сбору нефти могут изменяться значения удельных фактических убытков.

### **Заключение**

На основании результатов расчетов, выполненных для значений параметра  $W$  в диапазоне от 1 до 5000 т, параметра  $V$  в диапазоне от 0 до 100 % и параметра  $T$  в диапазоне от 6 до 240 ч и представленных на рис. 4, коэффициент максимально возможного предотвращения убытков  $\mu_{\max}$  не зависит от  $W$  и является постоянной величиной, равной 5.

### **Список литературы**

1. Методические рекомендации по разработке отраслевых регламентов защиты водных объектов и болотных ландшафтов при залповых сбросах нефти и нефтепродуктов на территории водосборных бассейнов: утв. Мин-вом природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь 19 ноя. 1999 г. – Приказ № 331. – Новополоцк : ПГУ, 2004. – 26 с.
2. Инструкция по защите окружающей среды при авариях на нефтепроводах / В. К. Липский [и др.]: утв. конц. «Белнефтехим» 03.10.02, № 480; согл. Проматомнадзором МЧС Респ. Беларусь 03.06.02. – № 06–1355, Минприроды Респ. Беларусь 05.01.2002. – № 03–06/149. – № 480. – Минск, 2002. – 135 с.
3. Липский, В. К. Технические средства защиты водных объектов при аварийных разливах нефти / В. К. Липский, И. И. Лиштван. – Новополоцк : ПГУ, 2009. – 304 с.
4. Методика подсчета убытков, причиненных государству нарушением водного законодательства: постановление Мин-ва природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь 6 янв. 1995 г. // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2001. – 8/6079. – 83 с.

***V. K. Lipsky, D. P. Komarovskiy, L. M. Spiridenok, A. A. Gvozdeva***

## **COMPLEX TECHNOLOGICAL PROCESS OF WATER OBJECTS AT THE EMERGENCY OIL SPILLS**

The emergency oil spills cause serious ecological damage for environment and water objects especially. The main pipeline of oil and oil products is the most frequent source of such pollution. The given source is characterised by big scale and variety of landscapes.

The method of construction of technological processes protection of the water objects was considered in this article. This method considers the geolandscape characteristics of the territories and estimation of efficiency of activity on liquidation of emergency floods of oil.